

JP4325677

Publication Title:

ION NITRIDING METHOD FOR METALLIC SURFACE BY UTILIZING GLOW DISCHARGE

Abstract:

PURPOSE: To efficiently form a hardened layer by ion nitriding on a metallic surface without forming an embrittled layer by subjecting the metallic surface to an ion nitriding treatment utilizing a glow discharge at the time of hardening the metallic surface by the nitriding treatment.

CONSTITUTION: The inside of a vacuum chamber 1 where a metallic material 2 consisting of iron, steel, stainless steel, etc., is imposed on an electrode 3 is evacuated to a vacuum from a discharge port 10 and the metallic material 2 is heated up by energizing a heater 7 in the electrode 3. A gaseous mixture composed of nitrogen and hydrogen is introduced from a nozzle 4 into the chamber under 0.1 to 5 Torr pressure. The glow discharge is generated between the electrode 3 as a negative electrode and the inside wall of the vacuum chamber 1 as a positive electrode by a power source connected with a high-frequency power source 6 and a DC power source 5 in parallel. The density of the formed plasma is controlled to 0.1 to 5W/cm², by which the surface of the metallic material 2 is efficiently nitrided without generating the embrittled layer on the surface of the metallic material 2. The hard nitrided layer having excellent wear resistance is thus formed.

Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-325677

(43)公開日 平成4年(1992)11月16日

(51)Int.Cl.⁵
C 23 C 14/48

識別記号
8414-4K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2(全8頁)

(21)出願番号 特願平3-188407

(22)出願日 平成3年(1991)4月24日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 関川 治平

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 大原 久典

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 吉岡 剛

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(74)代理人 弁理士 青木 秀實

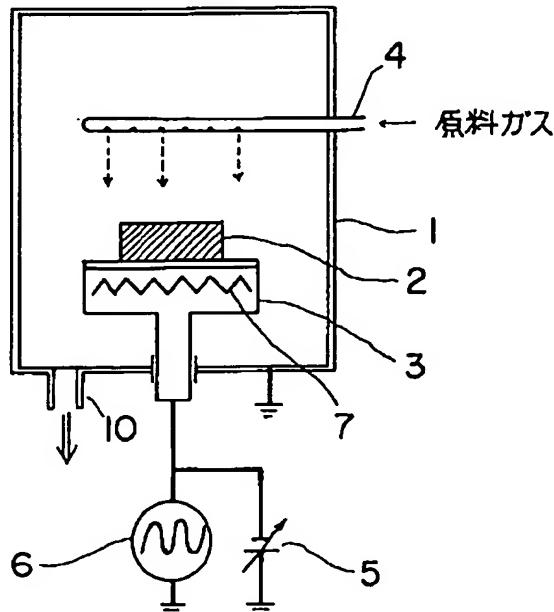
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 グロー放電を利用した金属表面のイオン窒化方法

(57)【要約】

【目的】 従来、プラズマを用いた表面硬化処理法では、数Torrの窒素含有ガスを真空容器内に導入し、真空容器と被処理物との間に直流電圧を印加して加熱されている被処理物に窒素イオンを衝突させて表面硬化層を形成していたが、直流を前記のように印加して処理すると脆化層を被処理物の表面に生じる。本発明はこのような脆化層を生じない表面硬化処理法を提供する。

【構成】 真空容器内でプラズマを発生させるため高周波、又は高周波と直流を併用して、発生した窒素イオンを被処理物に衝突させて硬化層を作る。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空容器内に設置した鉄鋼やステンレススチール等の鉄系合金よりなる金属部材と前記容器の間に、高周波、又は高周波と直流を印加し、プラズマによりイオン化された窒素イオンにより前記鉄系合金の表面を空化することを特徴とするグロー放電を利用した金属部材のイオン空化方法。

【請求項2】 請求項1のイオン空化方法において、真空容器が容量結合型の放電型式を探り、印加する高周波電力によるプラズマ密度が、 $0.1 \sim 5 \text{ W/cm}^2$ あり、処理圧力が $0.1 \sim 5 \text{ Torr}$ であることを特徴とする金属表面のイオン空化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、グロー放電を利用したイオン空化による鉄鋼やステンレススチール等の金属部材の表面硬化法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、金属部材の表面を硬化する方法として空化が多く用いられて來た。近年は、イオン工学的処理方法として原料ガスをプラズマによりイオン化させて空化を行うイオン空化法も用いられるようになった。このプラズマを用いた表面硬化処理法は、基本的には図5に示すような装置において、数Torrの窒素含有ガスを真空容器内1に導入し、被処理物2の周囲に巻いた誘導加熱用高周波コイル9に高周波電流を通じると同時に真空容器1と被処理物2との間に直流電圧を印加する事によりグロー放電を発生させて、ガス雰囲気中の窒素イオンを被処理物2の表面に衝突させ被処理物2を加熱するとともに被処理物表面の結晶粒界を通して窒素を侵入させ或は反応させて表面硬化層を形成するものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 このようにイオンを用いた方法では、被処理物表面に衝突する窒素イオンは分子、原子状態に比べ、衝突エネルギーが $1000 \sim 5000$ 倍も高い為、塩浴空化、ガス空化よりも効率よく表面硬化が出来る利点を有している。しかしながら、このような処理方法では通常被処理物表面に、数 $\mu\text{m} \sim$ 数十 μm の硬くて脆い脆化層($\gamma-\text{Fe}_4\text{N}, \varepsilon-\text{Fe}_{2-\delta}\text{N}$)が生じる。通常、これらの脆化層は混在して被処理物表面に形成されるが、各々、結晶構造、格子定数、熱膨張係数が異なる。その為に、耐摩耗性、耐衝撃性を必要とする金属部材、例えば金型や機械部品等に空化処理を施した場合、衝撃荷重が加わるとクラックが生じやすくなり、被処理物の寿命低下につながる。また、これらの脆化層が存在すると、被処理物の耐食性が劣化する傾向にある。その為に、従来の空化処理では、空化処理を行った後、最表面に生じる脆化層を研磨により除去して使用する。即ち、空化により表面硬化を実施した

10

20

30

40

50

後は必ず研磨処理を行う必要性があり、労力、コストに問題が残る。また、複雑形状を有する金型、機械部品等に空化処理を施す場合、研磨が均一に行われない可能性があり、空化処理品の信頼性、安全性が問題となる。脆化層を生じさせないようにする為に、従来は、窒素ガスの分率や直流電圧を低減させたり、空化処理後、H₂又はArで被処理物表面をスパッタし、脆化層を除去する方法もあるが、これらの場合は、空化速度が減少したり、1行程の処理時間が長くなる為、効率が悪くなるという問題を持つ。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明は、かかる課題を解決する為に、脆化層を生じる事なく複雑な形状を有する被処理物に対しても容易に効率よく空化による表面硬化が行える方法を提供するものである。

【0005】 ここで、まず本発明の実施を図1、2、3、4に示す装置を用いて説明する。なお各図とも、1は真空容器、2は被処理物、3は電極、4は原料ガス吹き出しノズル、5はDC電源、6はRF電源、7はヒーターである。図1に示すように、真空容器1の内側に被処理物2を設置する設置台兼用の電極が設けられ、この電極3に対向して真空容器1の空間に容器1を貫通して複数の吹き出し口を備える原料ガス吹き出しノズル4が設けられる。真空容器1は概略的にしか示していないが、外部の真空排気系とつながる排気孔10を備えている。また前記電極3はこれに設置される被処理物2を加熱するヒーター7を備えている。図のように、RF電源、例えば周波数が13.56MHzの電源6の一方の端子と、これと並列に直流電源5の負側端子が電極3に接続され、両電源の他方端子は接地され、また真空容器1の内壁も接地される。また、図2に示す装置では、図1に示す装置と相違して、電極3と原料ガス吹き出しノズル4との間に金属メッシュ電極8を保持し、このメッシュ電極8をRF電源の一方の端子と接続し、電極3にはDC電源5のみが接続され、双方の他端子は接地される。さらに、図3の装置は真空容器1の中心に複数の吹き出し口を備える原料ガス吹き出しノズル4が真空容器1を貫通して設けられ、このノズル4と同心状に環状のヒーター7が配置され、このノズル4と環状のヒーター7との間に、環状の被処理物3が配置できるように、設置台兼用の電極3が配置される。DC電源5、およびRF電源6の装置に対する接続は図1の場合と同じであり、真空容器1の内壁は接地される。また、図4の装置は、その構成においては図3のものと相違して原料ガス吹き出しノズル4と被処理物2の配置される位置との間に円筒状の金属メッシュ電極8を備え、DC電源5およびRF電源6の一端はそれぞれ電極3、金属メッシュ電極8に接続されている。

【0006】

【作用】 図5に示す従来の装置およびこの装置による処

3

理方法では、被処理物2に負の電圧を加え、真空容器1の内壁を接地して、容器内を減圧し、両者間でグロー放電を発生させて処理を行っている。この際真空容器1に導入された窒素ガス、水素等はグロー放電によりイオン化される。このイオン化された窒素イオンは正の電気を帯びている為、負に帯電している被処理物に激しく衝突する。この場合、被処理物は窒化処理を実施している間、即ちグロー放電を維持している間は常に負に帯電している為、絶えず正の窒素イオンが被処理物の表面に衝突する事になり、被処理物表面の鉄原子はこの窒素イオンと結合し窒化鉄として析出する。また、被処理物に衝突した窒素イオンにより、表面近くの格子欠陥密度が増加するが、イオン衝撃によって生じた転位の移動方向と窒素の拡散方向が一致する為、窒素は被処理物内部へ拡散することになる。内部へ拡散した窒素は被処理物中に含まれるCr, V, Mo, Al等と結合して硬度の高いこれらの窒化物を形成する。その結果、被処理物の硬度は高くなる。しかしながら、グロー放電により生成される窒素イオンの被処理物表面への供給量が、被処理物内部への拡散量よりも高すぎる時、被処理物表面での窒素イオンの過飽和状態が起り、被処理物表面での窒素イオンの滞在時間が多くなる為、結果として被処理物の主成分である鉄と結合し硬くて脆い窒化鉄を形成することになる。

【0007】一方、本発明による窒化処理の原理を記す。図1、2は高周波電極と対向電極が平行して設置されている容量結合型RF放電真空容器である。図1の装置で被処理物に周波数 $f = 13.56\text{ MHz}$ の高周波を加え、接地した真空容器内壁との間でグロー放電を発生させる場合、被処理物は交番電圧の為に交互に陽極と陰極になるが、プラズマ中の窒素イオンと電子の移動度の差により高周波を加えた電極には数十～数百Vの自己バイアス(SELF BIAS)が加わる。高周波電極側に設置した被処理物が負の電位にある時は、窒素イオンが被処理物表面に衝突するが、次の瞬間、被処理物が正の電位に換わると、被処理物表面に衝突した窒素イオンが表面に吸着し表面の鉄原子と結合する前に一部の窒素イオンは対向電極である真空容器内壁側に引き寄せられる。この様に、高周波放電を用いて窒化を行った場合、前述の直流放電の場合とは異なり、常に窒素イオンが被処理物表面に供給される事がない。即ち、被処理物表面の窒素イオン濃度が過飽和になる確率が少ないので、脆化層が生じ難くなる。また、高周波放電により被処理物表面はパルス的に窒素イオンによって衝撃を受ける為、連続的に衝撃を受ける直流放電の場合よりも被処理物内に転位を生じ易い。前述の如く、転位生成密度が大きいほど、窒素は内部に拡散し易くなる為に結果として少ない窒素イオン密度でも効率よく被処理物を窒化出来る。この場合、プラズマ密度が、 5 W/cm^2 よりも高くなると、被処理物表面が炭素を含む鋼である場合は脱炭現象

10

20

30

40

4

が生じ脆くなる。また、被処理物表面に肌荒れが生じ外観を損ねる。また、プラズマ密度が 0.1 W/cm^2 よりも低い場合は、プラズマによる被処理物表面近傍の転位生成密度が小さくなる為に、窒素は被処理物内部にまで拡散し難くなる。また、図2ではRF出力をメッシュ電極8に、DC出力を被処理物に加えて窒化を行う場合を示す。この場合は、RF出力によってメッシュに生じる自己バイアスと被処理物に加えるDC出力との大小により、前述の様に被処理物にパルス的に窒化イオンが衝突し効率的に窒化される。以上、述べた窒化処理は $0.2\sim 5\text{ Torr}$ の圧力範囲内で施行される。容器内圧力が 0.1 Torr りも高真空の場合は、プラズマ中の窒素イオンの密度が低い為、窒化が生じにくい。また 5 Torr よりも低真空の場合はプラズマ中の電子温度が低くなる為、窒化が生じにくくなる。そして図3、図4に示す装置においても、窒化処理中、それぞれ図1、図2について説明した作用と同様な作用を生ずる。これらの装置は被処理物の硬化対象面の形状に従って適宜選択して用いられる。以下本発明による実施例を示す。

【0008】

【実施例1】本発明による窒化方法により冷間加工用金型(直径80mm、厚さ55mm)へのイオン窒化を実施した場合を示す。被処理物である冷間加工用金型を真空容器内に具備されているRF電極に設置した後、真空容器内を排気系ポンプ(不図示)により $0.003\sim 0.05\text{ Torr}$ に減圧させた。 H_2 を流しながらヒーターにより 500°C にまで金型を加熱した後、 H_2 とArの混合ガスをガス吹き出しノズルにより真空容器内に供給すると同時にDC電源より金型にDC出力を加え、金型の表面を10分～30分スパッタクリーニングする。クリーニング終了後、Arガスの供給を中止すると共に N_2 ガスを加え、 N_2 と H_2 の混合ガスを真空容器内に供給し、反応圧力を 0.4 Torr に保つ。 N_2 と H_2 の混合比は、目標とする窒化層深さに応じて $1:10\sim 1:1$ に変化させれば良い。また、反応圧力は、目標とする窒化層厚さに応じて $0.2\text{ Torr}\sim 4\text{ Torr}$ に変化させれば良い。 N_2 と H_2 の混合ガスを真空容器内に供給すると同時にDC出力供給を中止し、RF電源より金型にRF出力を供給する。供給するRF出力は、金型の寸法形状及び目標とする窒化層深さに応じて $100\text{ W}\sim 3,000\text{ W}$ に変化させれば良い。また、目標とする窒化層深さに応じてDC出力を併用して用いても良い。窒化層を深く迅速に生成したい時にDC出力を併用すると効果的である。イオン窒化を開始してから1時間後、RF出力(或はRF出力とDC出力)の供給を中止し、 N_2 ガスの供給を中止する。窒化処理時間は、目標とする窒化層深さに応じて数十分～8時間に変化させれば良い。その後、 H_2 ガスを流しながら金型を冷却する。

50

【0009】このようにして窒化処理した金型は窒化処

理前と比べて表面光沢、色調等は全く変化がなかった。図6～図9にこの金型の硬度分布、断面プロフィール、結晶構造回折及び断面方向のEPMAの結果を示す。図6には、通常のイオン空化(処理時間=1時間)を施した同じ形状の冷間加工用金型の硬度分布を併せて示す。図6より、本発明による空化の生成速度は、従来のイオン空化と変わらない事が明かである。また、図7の断面プロフィール及び図8(イ)、(ロ)のX線構造回折の結果より、この金型の表面には脆化層が生成していないことが判明した。さらに、EPMAの結果より、図9に示すように窒素は表面から約50μmに亘り拡散していることがわかった。このように空化処理したパンチを未処理物とともに鍛造作業に供した。その結果、未処理物のパンチは3,500ショットで表面にヒートクラックが発生し、8,000ショットでかじりが発生した。空化処理を行ったパンチは12,000ショットまでヒートクラックが発生しなかった。

【0010】

【実施例2】次に本発明による空化処理をアルミニウムダイカストピン(直径20mm×長さ50～200mm)へ応用した場合を示す。アルミニウムダイカストピンへのイオン空化は熱間用ダイス鋼(SKD61)で行われ、表面はHV=1100～1200に処理され耐摩耗性を向上させるとともにヒートクラックを減少させることが出来る。アルミニウムダイカストピンを図2に示すような真空容器内に設置する。アルミニウムダイカストピンにはDC電源が接続されている。また、原料ガスを真空容器内に供給する。原料ガス吹き出しノズルとアルミニウムダイカストピンとの間には、RF電源と接続されているメッシュが設置されている。真空容器の排気、アルミニウムダイカストピンの加熱及びスパッタクリーニングは、実施例1と同様である。スパッタクリーニング後、原料ガス吹き出しパイプよりN₂とH₂の混合ガスを真空容器内に供給する。また、同時に、メッシュにRF出力を1500W加えると同時にアルミニウムダイカストピンに-200VのDC出力を加える。アルミニウムダイカストピンの寸法形状及び目標とする空化層深さに応じて、RF出力は100W～3,000W、DC出力は-50V～-500Vに変化させると良い。また、空化処理時間は、アルミニウムダイカストピンの寸法形状及び目標とする空化層深さに応じて、数十分～8時間に変化させると良い。このようにして空化処理したアルミニウムダイカストピンは空化処理前と比べて表面光沢、色調等は全く変化がなかった。図10～図12にこのアルミニウムダイカストピンの硬度分布、断面プロフィール、結晶構造回折の結果を示す。断面プロフィール及びX線構造回折の結果より、このアルミニウムダイカストピンの表面には脆化層が生成していない事が判明した。また、このようにして空化処理したアルミニウムダイカストピンを未処理のアルミニウムダイカストビ

10

20

30

40

50

ンとともにADC12のダイカスト工程に投入し性能評価を実施した。試験条件は次の通りである。

溶湯温度：680℃

ショットサイクル：35～40sec

湯速度：55m/sec

製品：自動車用トランスマッisionケース

性能判定は、50ショット毎のかじり現象の有無とした。その結果、ショット数は未処理のアルミニウムダイカストピンは105ショットでかじりついたのに対し空化処理を行ったアルミニウムダイカストピンは563ショットまでかじり現象が観察されなかった。

【0011】

【実施例3】本発明による空化処理方法を筒形状内面に応用した例として、空化鋼からなる射出成形機シリンダー内面への空化処理を次に示す。射出成形機シリンダーには耐摩耗性が要求される。用いたシリンダーは、内径50mm、長さ600mmの直管形状を有している。このシリンダーを図3に示すような装置を用いて空化した。具体的に以下に説明する。被処理物であるシリンダーを周囲と絶縁させて真空容器内に設置する。シリンダーには、RF電源とDC電源が接続されていて、RF出力及びDC出力が加えられるようになっている。シリンダーの中央に同心円軸状に直径20mm～40mmのガス吹き出しパイプを設置する。ガス吹き出しパイプの側面には均一にガス吹き出し穴が設けられ、ガス吹き出しパイプ内に導入された窒素混合ガスが均一にシリンダー内面に供給されるようになっている。シリンダーの周囲には、加熱用ヒーターが設置されている。このようにシリンダーを設置して、実施例1と同様にして6時間空化処理を行った。その結果、シリンダー内面には、図13に示すような硬度分布及び断面プロフィールを示すような空化層が形成された。このようにして空化処理したシリンダーを用いて未処理のシリンダーとともにフェノール樹脂を成形した。この結果、未処理シリンダーは、3ヶ月で凝着が生じたが、本発明による空化処理を施したシリンダーは、7ヶ月で凝着の微候が観察された。

【0012】

【実施例4】次に本発明による空化処理品の耐食性を通常のガス空化と従来のイオン空化を施したサンプル及び未処理サンプルと比較する事により評価した。基材材質は30×60×5mmのステンレス鋼(SUS304)を用いた。本発明によるイオン空化は、実施例1で示した方法を用いた。この空化処理を行ったステンレス鋼は、外観上、処理前と全く変化は無かった。ガス空化は、520℃でN₂とH₂の混合ガスを用いて18時間処理を行った後連続して550℃で50時間処理を行った。また、従来のイオン空化は、N₂とH₂の混合ガスを用いて480℃で1時間処理を施したものと用いたものとイオン空化処理後を施した後研磨により脆化層を除去したものを用いた。ガス空化を行ったステンレス鋼は

灰色に、従来のイオン窒化のみを行ったステンレス鋼は黒色を帯びていた。これらの窒化処理を行ったステンレス鋼と未処理のステンレス鋼を常温で、15%の塩酸水溶液に15時間浸した。その結果を表1に示す。

【0013】表1

【0014】この結果より、ガス窒化及び従来のイオン窒化のみを施したサンプルは未処理サンプルに比べ、耐食性が著しく低下しており、イオン窒化処理後の研磨により脆化層を除去する事により未処理サンプルと同等の耐食性を示した。これに対し、本発明による窒化処理サンプルは未処理サンプルと殆ど変わらない事がわかる。

【0015】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、鋼、ステンレス等の金属部材の表面を脆化層を生じる事なく効率的に窒化する事が出来る。その為に、金属部材の耐食性を損なう事なく耐摩耗性を向上させる事が出来ると共に窒化処理後の脆化層除去が不用な為、著しい効率向上、コスト低減が可能となる。また、以上の説明はイオン窒化について述べたが、本発明は、イオン浸炭、イオンほう化に対しても適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるイオン窒化処理法に用いられる装置の概略図を示す。

【図2】本発明によるイオン窒化処理法に用いられる図1と別の装置の概略図を示す。

【図3】本発明によるイオン窒化処理法に用いられる図1、2と別の装置の概略図を示す。

【図4】本発明によるイオン窒化処理法に用いられる図1、2、3と別の装置の概略図を示す。

20

30

【表1】

【図5】従来のイオン窒化処理に用いられる装置の概略

表1 耐食試験結果

基材	本発明による 窒化処理	ガス窒化 処理	従来の イオン 窒化処理	従来のイオ ン窒化処理 脆化層除去	未処理
重量減量 (mg)	278	551	482	289	270

図を示す。

【図6】本発明の窒化処理を施した冷間加工用金型の硬度分布と従来の窒化処理を施した前記金型の硬度分布を示す。

【図7】本発明の窒化処理を施した冷間加工用金型の断面プロフィールを示す。

【図8】(イ)図は未処理、(ロ)図は本発明の窒化処理を施した冷間加工用金型の結晶構造回折結果を示す。

【図9】本発明の窒化処理を施した冷間加工用金型の断面方向のE PMAを示す。

【図10】本発明の窒化処理を施したアルミニウムダイカストピンの硬度分布を示す。

【図11】本発明の窒化処理を施したアルミニウムダイカストピンの断面プロフィールを示す。

【図12】本発明の窒化処理を施したアルミニウムダイカストピンの結晶構造回折結果を示す。

【図13】本発明の窒化処理を施したシリンダーの硬度分布を示す。

【符号の説明】

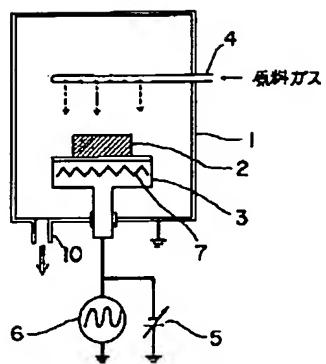
- 1 真空容器
- 2 被処理物
- 3 電極
- 4 ガス吹き出しノズル
- 5 DC電源
- 6 RF電源
- 7 ヒーター
- 8 メッシュ電極
- 9 誘導加熱コイル
- 10 高周波電源

20

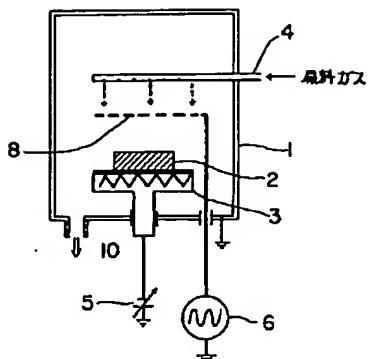
30

【表1】

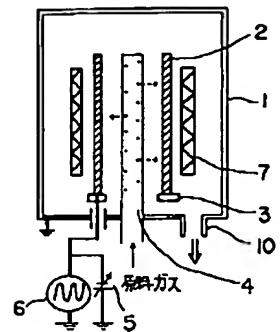
【図1】



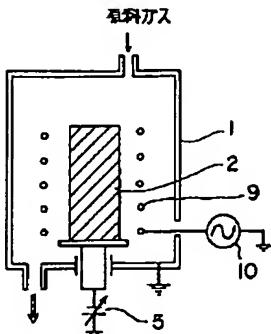
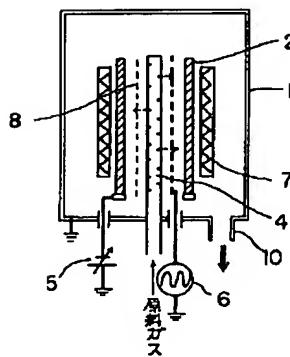
【図2】



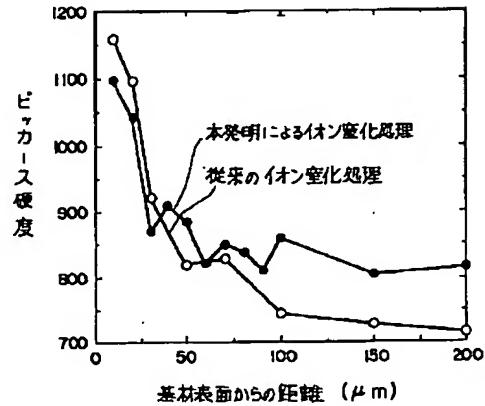
【図3】



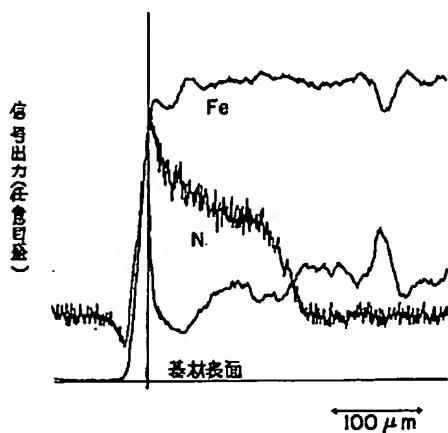
【図4】



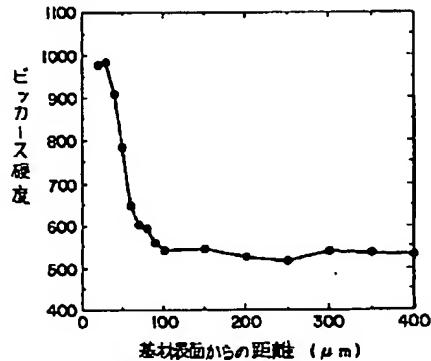
【図6】



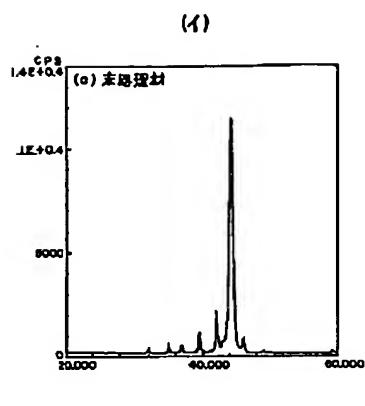
【図9】



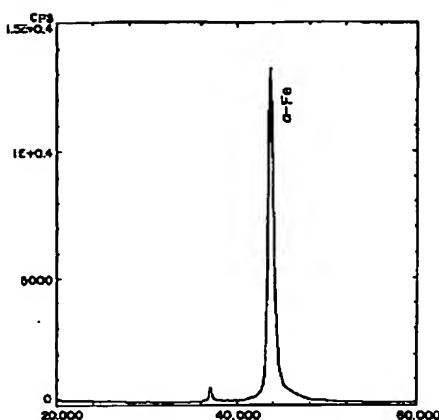
【図10】



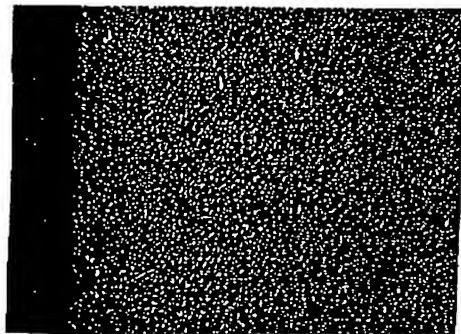
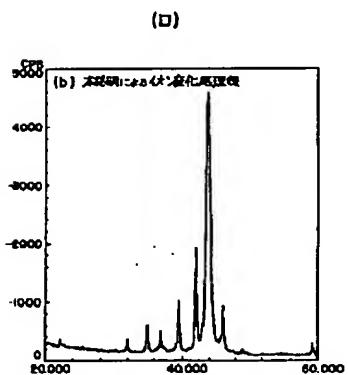
【図8】



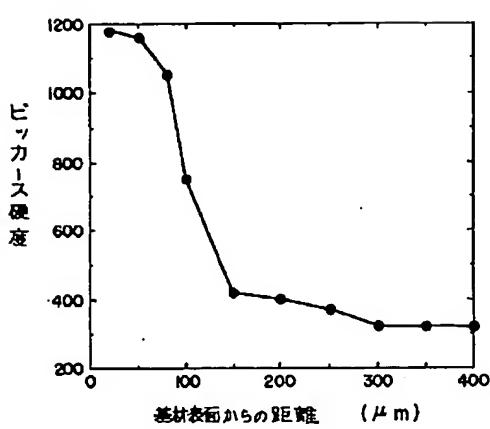
【図12】



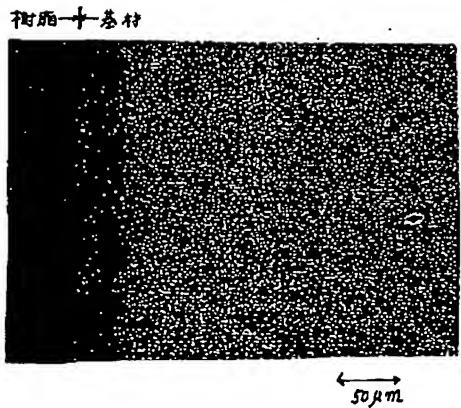
【図7】



【図13】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 川合 弘
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 04325677
PUBLICATION DATE : 16-11-92

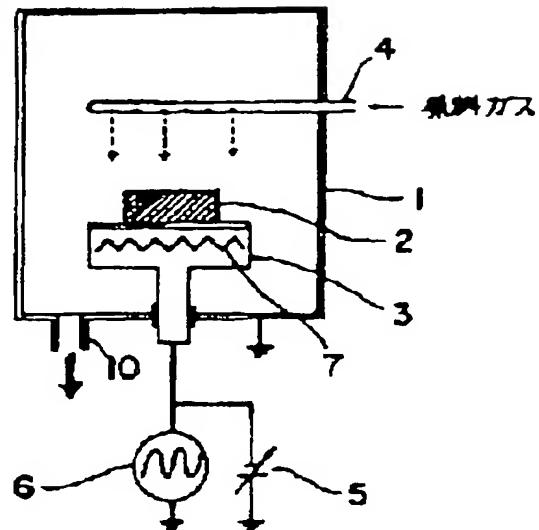
APPLICATION DATE : 24-04-91
APPLICATION NUMBER : 03188407

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : KAWAI HIROSHI;

INT.CL. : C23C 14/48

TITLE : ION NITRIDING METHOD FOR
METALLIC SURFACE BY UTILIZING
GLOW DISCHARGE



ABSTRACT : PURPOSE: To efficiently form a hardened layer by ion nitriding on a metallic surface without forming an embrittled layer by subjecting the metallic surface to an ion nitriding treatment utilizing a glow discharge at the time of hardening the metallic surface by the nitriding treatment.

CONSTITUTION: The inside of a vacuum chamber 1 where a metallic material 2 consisting of iron, steel, stainless steel, etc., is imposed on an electrode 3 is evacuated to a vacuum from a discharge port 10 and the metallic material 2 is heated up by energizing a heater 7 in the electrode 3. A gaseous mixture composed of nitrogen and hydrogen is introduced from a nozzle 4 into the chamber under 0.1 to 5 Torr pressure. The glow discharge is generated between the electrode 3 as a negative electrode and the inside wall of the vacuum chamber 1 as a positive electrode by a power source connected with a high-frequency power source 6 and a DC power source 5 in parallel. The density of the formed plasma is controlled to 0.1 to 5W/cm², by which the surface of the metallic material 2 is efficiently nitrided without generating the embrittled layer on the surface of the metallic material 2. The hard nitrided layer having excellent wear resistance is thus formed.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio